

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

# **Kalibrace vodováh (Water Level Calibration)**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Šárka Tichá, Ph.D.

Student:

Bc. Lukáš Křísl

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Krisl**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Téma: **Kalibrace vodováh**  
**Water Level Calibration**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte rozbor požadavků na vodováhy
2. Provedte analýzu současného stavu kalibrace vodováh (rozbor metod)
3. Na základě rozboru metod proveďte návrh vhodné metodiky kalibrace vodováh
4. Provedte konstrukční návrh přípravků a snímačů pro kalibraci, včetně zpracování algoritmu výpočtu nejistoty kalibrace měřidla.
5. Provedte praktické ověření návrhu, včetně vyhodnocení výsledků měření.
6. Provedte celkové zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

Dokument EA4/02. *Vyjadřování nejistot měření při kalibraci*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 70 s.

Kalibrační postup KP 1.2.2/03/02/N *Podélná vodováha*. Praha: Česká metrologická společnost, 2002. 9 s.  
TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie – část 1*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

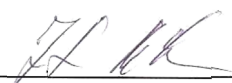
ČSN ISO 690-2 *Bibliografické citace - Část 2: Elektronické dokumenty nebo jejich části*. Praha: Český normalizační institut, 2000. 24 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Šárka Tichá, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



prof. Dr. Ing. Josef Brychta  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2005




.....  
podpis studenta

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21.5.2005

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

**Lukáš Krisl**

Adresa trvalého pobytu autora práce:

**Horní Třešňovec 71**

**Lanškroun 563 01**

### **Poděkování za spolupráci**

Touto formou bych chtěl poděkovat vedoucí diplomové práce Ing. Šárce Tiché, Ph.D. za odborné rady, připomínky a pomoc při zpracování této diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Vavřinovi za jeho vstřícný přístup, ochotu při mém působení ve firmě UNIMETRA spol. s r.o. a za odbornou pomoc při zpracování mé diplomové práce.

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

KRISL, L. *Kalibrace vodováh: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2010, 54s. Vedoucí práce: Tichá, Š.

Diplomová práce obsahuje rozbor problematiky měření a kontroly rovinného úhlu. V úvodu je charakterizována problematika kalibrace vodováh ve firmě UNIMETRA spol.s r.o., jejíž řešením se práce zabývá. V teoretické části jsou popsány poznatky z oblasti měření a kontroly rovinného úhlu. V dalších částech je analyzován současný způsob kalibrace vodováh v podniku UNIMETRA spol. s r.o., proveden návrh nové metody a rozbor její realizace. Součástí práce je praktické ověření nově navrhovaného způsobu kalibrace vodová, porovnání se současnou metodou a jeho zhodnocení.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

KRISL, L. *Water Level Calibration: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2010, 54s. Thesis head: Tichá, Š.

The thesis contains an analysis of problems of measurement and control of plane angle. Questions of calibration of the water levels in the company UNIMETRA spol s r.o., whose thesis deals with the solution, is characterized in the introduction. The theoretical part describes the findings in the field of measurement and control plane angle. The next section analyzes the present method of calibration of the water levels in the company UNIMETRA spol. s r.o., made the proposal a new method of analysis and its implementation. Part of this work is a practical verification of the newly proposed method of calibration levels, compared with the current method and its evaluation.

## Obsah diplomové práce

<b>SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ .....</b>	<b>8</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>1 CÍL PRÁCE .....</b>	<b>10</b>
<b>2 MĚŘENÍ A KONTROLA ROVINNÝCH ÚHLŮ .....</b>	<b>11</b>
2.1 SINUSOVÉ PRAVÍTKO .....	12
2.2 LIBELA .....	14
2.3 UNIVERSÁLNÍ ÚHLOMĚR .....	20
2.4 ZDROJE CHYB PŘI MĚŘENÍ ÚHLŮ .....	21
2.5 PŘESNOST MĚŘENÍ ROVINNÝCH ÚHLŮ .....	24
<b>3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU .....</b>	<b>25</b>
3.1 PŘÍPRAVA KALIBRACE .....	25
3.2 KALIBRACE ZEDNICKÉ VODOVÁHY .....	27
3.3 KALIBRACE ZEDNICKÉ VODOVÁHY SE SKLONOMĚREM .....	28
3.4 KALIBRACE PODÉLNÉ VODOVÁHY .....	29
<b>4 ROZBOR METOD MĚŘENÍ .....</b>	<b>30</b>
<b>5 VÝBĚR METODY .....</b>	<b>33</b>
5.1 PŘÍPRAVA KALIBRACE .....	33
5.2 KALIBRACE ZEDNICKÉ VODOVÁHY .....	35
5.3 KALIBRACE ZEDNICKÉ VODOVÁHY SE SKLONOMĚREM .....	36
<b>6 KONSTRUKČNÍ NÁVRH PŘÍPRAVKŮ A SNÍMAČŮ PRO KALIBRACI.....</b>	<b>37</b>
<b>7 Vlivy a podmínky měření .....</b>	<b>43</b>
<b>8 VÝPOČET NEJISTOTY MĚŘENÍ.....</b>	<b>44</b>
8.1 VÝPOČET STANDARDNÍ NEJISTOTY TYPU A – $U_A$ .....	45
8.2 VÝPOČET STANDARDNÍ NEJISTOTY TYPU B – $U_B$ .....	46
8.3 VÝPOČET KOMBINOVANÉ STANDARDNÍ NEJISTOTY – $U_C$ .....	48
8.4 VÝPOČET ROZŠÍŘENÉ STANDARDNÍ NEJISTOTY $U$ .....	48
<b>9 PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ.....</b>	<b>49</b>
<b>10 CELKOVÉ TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>53</b>
<b>11 ZÁVĚR.....</b>	<b>55</b>
<b>12 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>56</b>
<b>13 SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>57</b>

## **Seznam použitého značení**

$E$  – citlivost libely [mm/m]

$R$  – poloměr [mm]

$\bar{x}$  – aritmetický průměr naměřených hodnot z celkového počtu  $n$  měření [°]

$x_i$  – hodnota měření  $i$  [°]

$n$  – celkový počet měření

$s(x)$  – výběrová směrodatná odchylka [°]

$s(\bar{x})$  – směrodatná odchylka výběrového aritmetického průměru [°]

$u_a$  – standardní nejistota měření typu A [°]

$u_b$  – standardní nejistota měření typu B [°]

$u_c$  – kombinovaná nejistota měření [°]

$u_z$  – standardní nejistota zdroje nejistoty měření typu B [°]

$U$  – rozšířená standardní nejistota měření [°]

$U_{95}$  – rozšířená standardní nejistota měření s 95% pravděpodobností pokrytí  
skutečné hodnoty [°]

$Z_i$  – odchylka od jmenovité hodnoty [°]

$m$  – koeficient rozdělení

$k$  – korekční koeficient pro různé počty opakování měření

$k_u$  – koeficient rozšíření



## **Úvod**

Firma UNIMETRA, spol. s r.o. vznikla v roce 1992 a aktivně působí od počátku roku 1993. Předchůdci firmy byla od roku 1990 činnost v oblasti měřidel a metrologie fyzické osoby „Ing. Lubomír Číž – metrologie“ a činnost „sekce Metrologie firmy Univers“.

Cílem firmy je prodej, servis a kalibrace měřidel. Zaměřuje se i na metrologické vzdělávání pracovníků, pořádá odborné kurzy a semináře. Firma UNIMETRA, spol. s r.o. disponuje kalibrační laboratoří, která byla v roce 2002 akreditována Českým institutem pro akreditaci dle normy ČSN EN ISO/IEC 17025.

V oblasti kalibrace a kontroly úhlových měřidel jsou na firmu kladeny zvyšující se nároky, především z kvantitativního hlediska. UNIMETRA, spol. s r.o. hledá nový přístup ke kontrole a kalibraci úhloměrných přístrojů, zejména zednických vodováh, zednických vodováh se sklonoměrem a hrubých strojních vodováh. Snahou podniku je zjednodušit a zefektivnit manipulační úkony samotné kalibrace, ale i unifikovat kalibrační postup.

Tohoto se snaží dosáhnout zavedením nového kalibračního přípravku pro kalibraci vodováh. Kalibrace s využitím tohoto přípravku zvýší produktivitu pracovníků, zefektivní jednotlivé úkony kalibračního procesu a rozšíří možnosti sortimentu kalibrovaných měřidel.

## **1 Cíl práce**

Jednou ze služeb poskytovaných firmou UNIMETRA, spol. s r.o. je kalibrace vodováh. Jedná se především o zednické vodováhy a zednické vodováhy se sklonoměrem, klasické i s digitální stupnicí. Dále jsou v sortimentu kalibrovaných vodováh strojní vodováhy.

Cílem mé diplomové práce je návrh přípravku pro kalibraci zednických vodováh na základě požadavků a možností firmy UNIMETRA spol. s r.o., zpracovat výrobní dokumentaci, kalibrační postup a provést ověření.

Tento cíl bude realizován v následujících krocích:

- Teoretický rozbor problematiky měření rovinných úhlů
- Analýza současného stavu kalibrace vodováh ve firmě UNIMETRA, spol. s r.o.
- Návrh konstrukčního řešení přípravku pro kalibraci vodováh
- Návrh nového postupu kalibrace vodováh pro firmu UNIMETRA, spol. s r.o.
- Zpracování výrobní dokumentace a samotná výroba přípravku
- Experimentální ověření vhodnosti návrhu
- Vyhodnocení naměřených hodnot včetně stanovených nejistot a porovnání výsledků se stávajícím způsobem kalibrace

## **2 Měření a kontrola rovinných úhlů**

Úhlová měřidla slouží k měření malých odchylek od horizontální roviny, nebo určování větších či menších rovinných úhlů na nástrojích, přípravcích, ke kontrole kolmosti apod. [3]

Prostředky pro měření rovinných úhlů se rozdělují do dvou hlavních skupin a do jejich dalších dílčích podskupin: [3]

- **Úhlové míry**
  - Úhlové měrky
  - Úhelníky
  - Kuželové kalibry
  - Sinusová pravítka
  - Sinusový stůl
  - Úhlové prizma
- **Úhloměrné přístroje**
  - Libely
  - Úhloměry (optické mechanické, univerzální, elektronické)
  - Úhloměrné okuláry (součásti měřicích mikroskopů, délkoměrů apod.)
  - Dělicí stoly
  - Dělicí hlavy
  - Teodolity, goniometry
  - Sklonoměry
  - Úhloměrný interferometr
  - Kolimátor - autokolimátor

Pro potřeby diplomové práce se budu zabývat pouze použitím sinusového pravítka, libely a úhloměru.

## 2.1 Sinusové pravítko

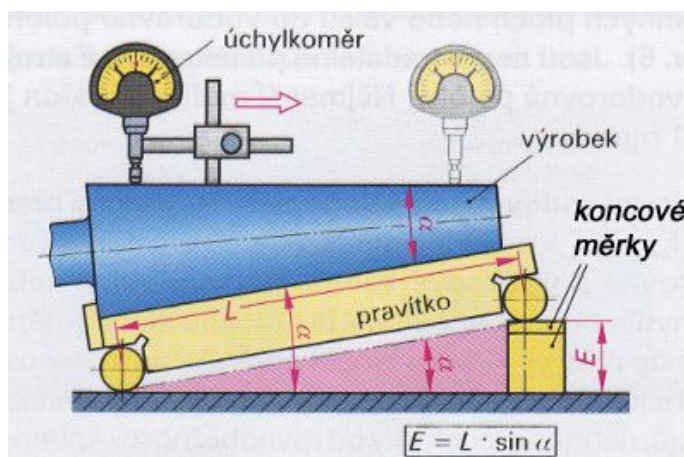
Sinusové pravítko je přesně opracovaný hranol s odlehčujícími otvory, který je na spodní straně opatřen dvěma opěrnými válečky, jak je zobrazeno na obr.1. Pravítka jsou vyráběny s různou osovou vzdáleností opěrných válečků, používají se vzdálenosti 100 mm, 150 mm, 200 mm, 300 mm i 500 mm. K tělesu pravítka mohou být připevněny po bocích a čelech příložky. Také může být toto pravítko opatřeno loži, které nesou posuvné hroty.



Obr. 1: Sinusové pravítko

Samostatné sinusové pravítko není měřidlem pro kontrolu rovinného úhlu. Měřidlem se stává až spojením s koncovými měrkami, které ho umožňují využít pro nastavování a měření rovinných úhlů. [1]

Sinusová pravítka jsou používána ke kontrole rovinných úhlů nebo jako přípravek při přesném obrábění. Obr. 2 zobrazuje princip kontroly vrcholového úhlu vnější kuželové plochy s využitím sinusového pravítka.



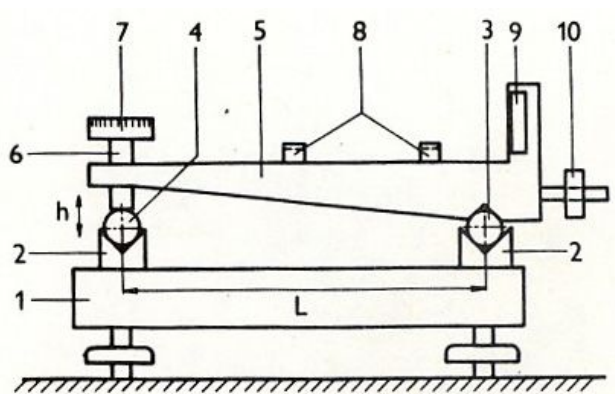
Obr. 2: Princip kontroly vrcholového úhlu vnějšího kužele pomocí sinusového pravítka [5]

### 2.1.1 Přístroj na kontrolu libel

Přístroj na kontrolu libel, taktéž označován jako zkoušeč libel, je přístroj generující spojitý úhel v potřebném rozsahu, popř. s ním lze měřit a kontrolovat rovinný úhel. Slouží pro určení citlivosti libel. Konstrukční řešení přístroje je realizováno na základě sinusové pravítka.[1]

Rozlišujeme dva druhy zkoušečů libel: [1]

- S protizávažím
- Bez protizávaží



Obr. 3: Přístroj na kontrolu libel [2]

Klasické zařízení pro kontrolu libel je na obr. 3. Na desce 1 jsou ve vzdálenosti  $L$  prizmata 2 pro uložení válečku 3 a kuličky 4. Váleček a kulička mají stejné jmenovité průměry. Rameno 5 zkoušeče je opatřeno na jednom konci mikrometrickým šroubem 6, jehož poloha se odečítá na stupnici bubínku 7. Stoupání mikrometrického šroubu je voleno, tak aby jedno otočení šroubu bylo celistvou hodnotou úhlu. Libela se ukládá do přestavitelné konzoly 8 na rameni 5. Rameno zkoušeče může být vybaveno i zrcátkem 9, které se uplatní při kalibraci stupnice autokolimátorů. Rameno může být vyváжено protizávažím 10, pro zachování konstantní síly působící na mikrometrický šroub. [1]

Měřený úhel  $\beta$  je dán délkou  $L$  a pohybem ramena  $k$ .

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{k}{L} \quad (1)$$

## **2.2 Libela**

Libely fungují na základě působení zemské gravitace a mohou detekovat správné ustavení roviny do horizontální polohy. Dále je možno pomocí libel měření malých úhlů a odchylek od horizontální polohy. Libely jsou využívány také pro nastavení strojů a přístrojů do vodorovné roviny. Jsou hlavní součástí vodováh a sklonoměrů.

Libely můžeme rozdělit do základních dvou skupin:

- Kapalinové
- Kyvadlové (elektronické)

### **2.2.1 Kapalinové libely**

Kapalinové libely jsou konstruovány na využití vlastností bublin vytvořených v uzavřených nádobách naplněných kapalinou, kdy se bublina snaží zaujmout nejvýše položeného místa v objemu uzavřené nádoby. Kapalinové libely jsou naplňovány tekutinou s nízkým bodem varu, jako je líh a éter.

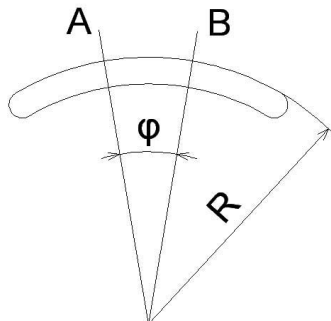
Kapalinové libely rozdělujeme podle tvaru nádoby uzavírající kapalinu na:

- Trubicové
- Krabicové

#### **2.2.1.1 Trubicové libely**

Podstatu trubicové libely tvoří skleněná válcová trubice se zakřivenou horní stěnou, která je kromě malé bubliny naplněna kapalinou. Vnější strana trubice je opatřena stupnicí s dílky jejichž vzdálenost od sebe je normalizována, nejčastěji bývají ve vzdálenosti 2mm. Délka bubliny se volí tak, aby při +20°C byla rovna 0,3 až 0,4 délky libely. Trubicové libely jsou oproti krabicovým libelám přesnější, je možno jich využít pro ustavení i k měření.

Skloněním libely o malý úhel se posune bublina libely na nejvyšší místo z bodu A do bodu B o vzdálenost  $a = R\varphi$  (mm, rad), tak jak je naznačeno na obr. 4.



Obr. 4: Trubicová libela

**Citlivost libely** je dána úhlem, o který se musí libela naklonit, aby se bublina posunula o jeden dílek stupnice.[2]

Pak tedy vzorec pro výpočet citlivosti vodováhy  $E$  bude ve tvaru:

$$E = \frac{a}{\varphi} = \frac{R}{260000} \text{ [mm/m]} \quad (2)$$

Citlivost závisí na poloměru  $R$ . Vzdálenost  $a$  o kterou se posunula bublina, můžeme také vyjádřit v délkách nanesené stupnice. Pak tedy platí:

$$E_1 = \frac{R}{d \cdot 260000} \text{ [mm/m]} \quad (3)$$

kde  $d$  je délka jednoho dílku.

**Přesnost libely** určuje nejmenší úhel, který můžeme vodováhou určit. Za předpokladu, že bezpečně odečteme 1/5 dílku stupnice, tj. 0,4mm, můžeme tedy říci, že přesnost libely je rovna 1/5 citlivosti.[2]

**Pohyblivost bubliny** je úhel o který je nutno libelu naklonit, aby se bublina vychýlila z rovnovážné polohy o hodnotu postřehnutelnou okem bez zvětšujícího zařízení, tj. o 0,2mm.[2]

#### **2.2.1.1.1 Podélná vodováha**

Jedná se o nejjednodušší typ vodováhy. Podélná vodováha je opatřena jednou hlavní trubicovou libelou umístěnou v těle vodováhy, případně je vodováha opatřena navíc vedlejší příčnou libelou. Broušená příložná základna vodováhy může být opatřena prizmatickým vedením. Podélná vodováha je zobrazena na obr. 5.



*Obr. 5: Podélná vodováha*

#### **2.2.1.1.2 Rámová vodováha**

Rámová vodováha je opatřena pravoúhlým rámem se vsazenou hlavní a vedlejší libelou, jak můžete vidět na obr. 6. Tři strany rámu jsou zpravidla prizmatické, vyrobeny s vyšší tolerancí než čtvrtá strana, ta je vyrobena v dílenské toleranci. Rámovou vodováhou je možno měřit odchylku od vodorovné i svislé roviny.



*Obr. 6: Rámové vodováhy*



#### **2.2.1.1.3 Křížová vodováha**

Křížová vodováha obsahuje dvě trubicové libely přesazené o 90°, popřípadě kruhovou libelu. Slouží pro ustavení plochy do vodorovné roviny. Křížovou vodováhu ukazuje obr. 7.



*Obr. 7: Křížová vodováha*

#### **2.2.1.1.4 Úhlová vodováha**

Pro měření velkých úhlů odkloněných od vodorovné roviny se používá úhlových vodováh. Úhlová vodováha je opatřena úhlovou stupnicí a slouží pro nastavení požadovaného úhlu odklonu. Hlavní libela je stavitelná v požadovaném rozsahu měřených úhlů, jak je patrné z obr. 8.



*Obr. 8: Úhlová vodováha*

#### 2.2.1.1.5 Hadicová vodováha

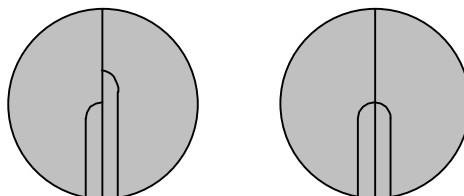
Hadicové vodováhy umožňují nepřesné měření výškového rozdílu. Hadicové vodováhy pracují s přesností  $\pm 0,5\text{mm}$ . Tyto vodováhy jsou založeny na principu spojitých nádob. Hadicové vodováhy jsou zobrazeny na obr. 9.



Obr. 9: Hadicová vodováha

#### 2.2.1.1.6 Koincidenční libela

Koincidenční libely mají rozšířený rozsah měření sklonu a jsou přesnější než běžné trubkové libely. Trubice libely je umístěna rámu vodováhy. Trubice je zacloněna podél osy tak, že je vidět polovina bubliny. Velkého rozlišení a přesného nastavení je docíleno pomocí koincidence obrazu obou konců nezacloněné části bubliny libely pomocí optického hranolového systému. Poloviny bubliny se pohybují proti sobě a je potřeba je ustavit tak aby se ztotožnily vzhledem ke značce, jak je naznačeno na obr. 10. Při měření ze dvou stran dojde k eliminaci vnitřní chyby libely.



Obr. 10: Zorné pole koincidenční libely

a) před vyrovnáním

b) po vyrovnání

### 2.2.1.2 Krabicové libely

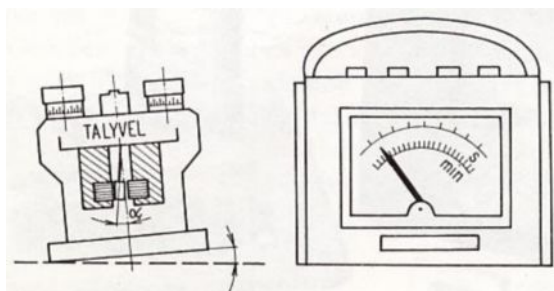
Krabicová libela je tvořena válcovou nádobou, v horní části uzavřenou sféricky vybroušenou plochou, která je vyplněná kapalinou. Bublina uzavřená v nádobě s kapalinou se vyskytuje v nejvyšším místě uzavřeného objemu. Okolo středového bodu libely je vyrytý jeden nebo více soustředných kroužků, které představují prostor, kde se má nacházet bublina libely při jejím vyrovnaní, viz obr. 11. Polohu libely vzhledem k podložce, na které je upevněna, je možné upravovat rektifikačními šrouby. Krabicových libel se používá pro ustavení objektu do horizontální roviny.



Obr. 11: Krabicová libela

### 2.2.2 Kyvadlové (elektronické) vodováhy

Kyvadlová vodováha se od kapalinové vodováhy liší především konstrukční řešením. V tělese vodováhy je speciálním způsobem zavěšeno kyvadlo, které udržuje polohu ve vodorovné rovině, kdežto těleso vodováhy mění svojí polohu podle roviny na které je uloženo. Protože při změně polohy nesetrvává kyvadlo v klidu, je potřeba jej tlumit například kapalinou, nebo elektromagneticky. Odchylku kyvadla vůči tělesu vodováhy je možno detekovat opticky, či elektronicky. Nastavitelná část se snímači je možné pomocí mikrometrických šroubů vychýlit a nastavit na nulu i v případě kdy vodováha není ustavená do vodorovné roviny. Elektronická vodováha je zobrazena na obr. 12. [2][4]



Obr. 12: Elektronická vodováha[4]

## **2.3 Universální úhloměr**

Universální úhloměr ukazuje obr. 13, používá se pro přímé měření úhlů. V současné době se již používají digitální universální úhloměry, které převádějí polohu snímače na digitální údaj, který je zobrazen na displeji. Výhodou digitálních měřidel je možnost vynulování stupnice a měření série úhlů, nebo výstupu dat do externí vyhodnocovací jednotky. [5]



*Obr. 13: Digitální úhloměr*

## 2.4 Zdroje chyb při měření úhlů

V každém měření se vyskytují zdroje chyb, které nepříznivým způsobem ovlivňují získané výsledky. Samotný měřicí proces se dá charakterizovat následujícími faktory: [1]

- Objekt měření
- Subjekt měření
- Měřidlo
- Metoda měření
- Podmínky měření

V každém z těchto faktorů se mohou vyskytnout zdroje chyb, jejichž mechanismus působení na výsledek měření je často velmi složitý. Aby bylo možné tyto mechanismy působení zkoumat, byli proto zavedeny různé klasifikace zkoumání chyb měření, které jsou ukázány na obr. 14. [1]



Obr. 14: Přehled klasifikace chyb měření [1]

Pro měření rovinných úhlů jsou typické dvě chyby měření. Jedná se o tyto chyby: [1]

- Chyba z netotožností rovin měření
- Chyba z excentricity

### 2.4.1 Chyba z netotožnosti rovin měření

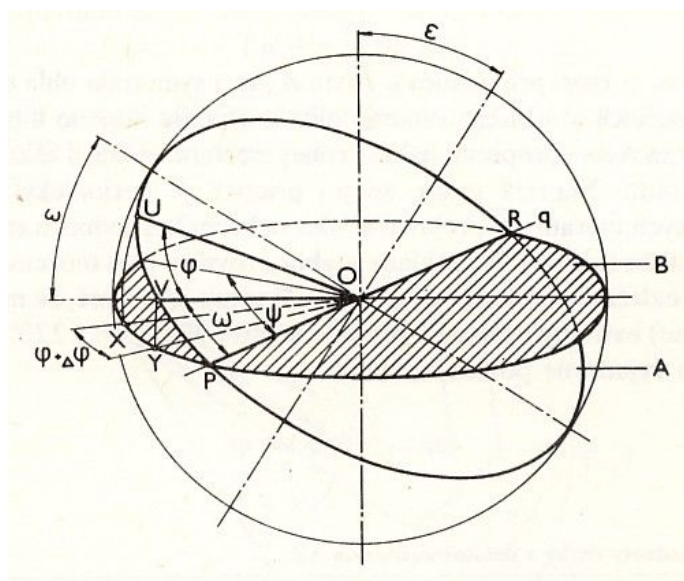
Chyba z netotožnosti rovin měření vzniká v případě, kdy rovina ve které leží úhel měřeného objektu, není totožná, nebo paralelní s rovinou použitého měřidla. V takovém případě se roviny protínají a jsou vůči sobě skloněny o malý úhel.

Na obr. 15 jsou dvě netotožné roviny A a B, které mezi sebou svírají úhel  $\varepsilon$ . Měřený úhel  $\varphi$  leží v rovině A, v rovině B bude naměřený úhel, odchylující se od skutečné hodnoty úhlu  $\varphi$ , o hodnotu  $\Delta\varphi$  pro kterou můžeme stanovit vztahy 4 a 5. [1]

$$\Delta\varphi = -\frac{\varepsilon^2}{2} \sin \varphi \cdot \cos 2\psi [^\circ] \quad (4)$$

$$\Delta\varphi = -\frac{\varepsilon^2}{2} \sin \varphi \cdot \cos(\varphi + 2\omega) [^\circ] \quad (5)$$

kde úhel  $\psi$  je svírán mezi průsečnicí q rovin A, B a symetrálou úhlu  $\varphi$ . Úhel  $\omega$  se rozkládá mezi průsečnicí q rovin A, B a bližším ramenem úhlu  $\varphi$ .



Obr. 15: Chyba z netotožnosti rovin měření [1]

### 2.4.2 Chyba z excentricity

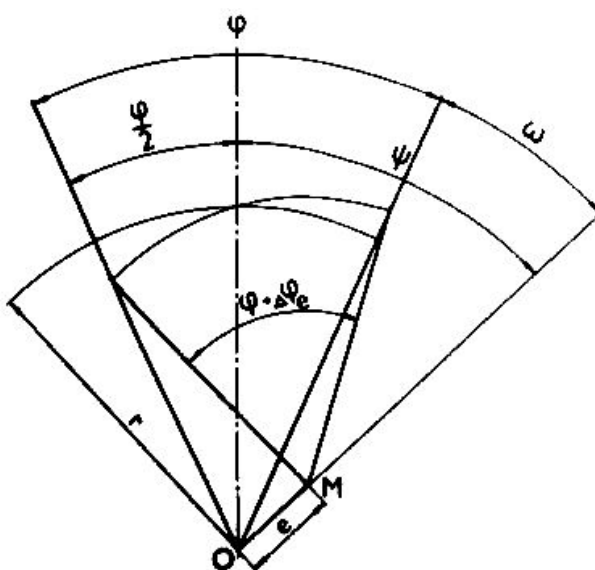
K chybě z excentricity dochází v případech kdy vrchol úhlu na měřeném objektu není totožný s vrcholem úhlové míry nebo pokud oba vrcholy nenáleží společné přímce kolmé na obě roviny měření. [1]

Podle obr. 16 je excentricita určena vzdáleností  $e$  a směrem  $\psi$ . Zároveň významnou roli hraje délka měřeného ramena  $r$ . Úhel  $\varphi$  je úhel měřený na objektu s vrcholem v bodě O. Úhel  $\varphi + \Delta\varphi$  je úhel zatížený chybou excentricity, jeho vrchol se nachází v bodě M, který není totožný s bodem O. Pro stanovení přibližné velikosti chyby z excentricity lze odvodit vztahy 6 a 7: [1]

$$\Delta\varphi_e = \frac{2e}{r} \sin \frac{\varphi}{2} \cos \psi [^\circ] \quad (6)$$

$$\Delta\varphi_e = \frac{e}{r} [\sin(\varphi + \omega) - \sin \omega] [^\circ] \quad (7)$$

Úhel  $\omega$  svírá směr  $\psi$  s přímkou procházející body O a M.



Obr. 16: Chyba z excentricity [1]

## 2.5 Přesnost měření rovinných úhlů

Přesnost měřidla je charakterizována jako schopnost poskytovat údaje blízké pravé hodnotě měřené veličiny. Je to souhrnná vlastnost měřidla vyjadřující zatíženost chybami měření. Pro hodnocení přesnosti měřidel a samotného měření byly stanoveny kvantitativní charakteristiky. Nejčastěji využívané jsou následující charakteristiky: [1]

- Výběrová směrodatná odchylka
- Směrodatná odchylka výběrového - aritmetického průměru

### 2.5.1 Výběrová směrodatná odchylka

Výběrová směrodatná odchylka  $s(x)$  jednoho měření v řadě nezávislých měření veličiny  $x$ , jež je charakteristikou rozptylu hodnot jednotlivých měření  $x_i$  z celkové série  $n$  měření je dána vztahem 8:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (8)$$

kde  $\bar{x}$  je aritmetický průměr naměřených hodnot  $x_i$  z celkových  $n$  měření.

### 2.5.2 Směrodatná odchylka výběrového - aritmetického průměru

Směrodatná odchylka výběrového - aritmetického průměru  $s(\bar{x})$  je charakteristikou rozptylu střední kvadratické odchylky z řady  $n$  měření. Je určena rovnicí 9:

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

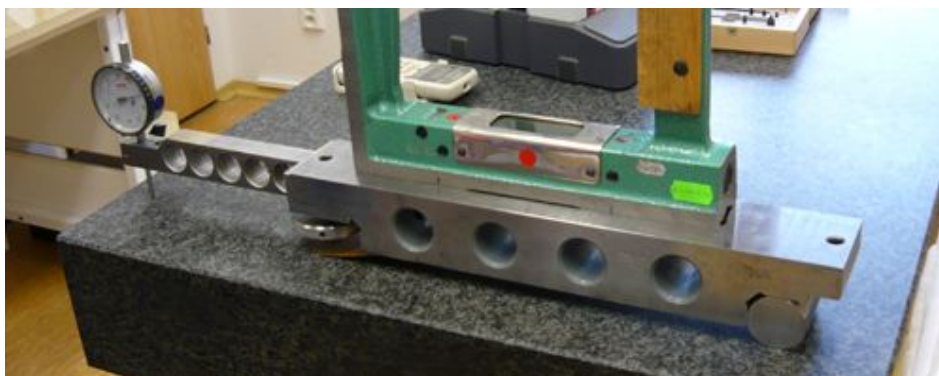
Kde  $s(x)$  se vypočte z rovnice 8.



### 3 Analýza současného stavu

V současné době je prováděna kontrola a kalibrace zednických vodováh v podniku UNIMETRA spol. s r.o. na vyrovnané průměrné desce pro kalibraci hlavní libely, pro kalibraci příčné libely je využito na desce ustaveného normálu. Při kalibraci zednických vodováh se sklonoměrem se používá série úhelníků.

Pro kalibraci strojních podélných vodováh je využíváno přípravku, zobrazeného na obr. 18. Přípravek se skládá ze sinusového pravítka délky 300mm, na jehož konci je upevněn šroub s jemným stoupáním a ramena pro upevnění snímače sklonu. Na tomto vysunutém rameni v délce 500 mm je upevněn číselníkový úchylkoměr s dělením 0,001mm. Přípravek je obdobné konstrukce jako přístroj pro zkoušení libel.



*Obr. 18: Přípravek využívaný pro kalibraci strojních libel*

#### 3.1 Příprava kalibrace

Podmínky kalibrace:

- Kalibrace se provádí při teplotě  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

Potřeby ke kalibraci:

- Průměrná deska, kontrolní trn Ø65 mm, nožové pravítko
- Úhelníky ( $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ), normál
- Sinusové pravítko
- Číselníkový úchylkoměr (dělení 0,001 mm)

Pomůcky:

- Čistící prostředky (technický benzin, štětec, utěrky)
- Tušírovací barva
- Pracovní stůl

Příprava měřicího zařízení:

- Kalibrovaná měřidla se nechají před samotnou kalibrací v místnosti s teplotou  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  pro vyrovnání teploty po dobu 3 hodin
- Příprava pomůcek a nástrojů
- Očištění měřidla a jeho funkčních ploch

Prohlídka zařízení:

- Kontrola značení na měřidle
- Kontrola funkčních ploch měřidla
- Kontrola libely
- Kontrola čitelnosti stupnice sklonoměru
- Kontrola čitelnosti displeje

Funkční zkouška:

- Kontrola plynulosti pohybu bubliny v libele
- Funkčnost displeje a načítání hodnot při změně polohy
- Funkčnost elektroniky
- Pohyblivost otočných částí sklonoměru

## 3.2 Kalibrace zednické vodováhy

Kalibrace zahrnuje:

- Kontrola rovinnosti funkčních ploch
- Kontrola libely
- Zpracování hodnot, vyhodnocení dle požadavků objednatele kalibrace

### 3.2.1 Kontrola rovinnosti funkčních ploch

Kontrolu rovinnosti funkčních ploch měřidla provádíme na průměrné desce nebo pravítku dle délky funkční plochy vodováhy. Odchylku rovinnosti zjišťujeme metodou na průsvit pomocí spároměru. Dovolené odchylky rovinnosti ukazuje tab. 1.

Tab. 1: Dovolené odchylky funkčních ploch zednických vodováh

Délka funkční plochy do [mm]	500	1000	2000
Dovolená odchylka rovinnosti [mm]	0,1	0,2	0,4

### 3.2.2 Kontrola libely

#### Horizontální poloha

Na ustavenou průměrnou desku položíme zednickou vodováhu, vizuálně zkontrolujeme polohu bubliny vůči ryskům hlavní libely. Libela vyhovuje, je-li bublina v ustálené poloze vzdálená od obou rysek o stejnou hodnotu.

#### Vertikální poloha

Na ustavenou průměrnou desku položíme granitový normál nebo úhelník k němuž přiložíme a uchytíme kontrolovanou vodováhu. Vizuálně zkontrolujeme polohu bubliny příčné libely. Libela vyhovuje, je-li bublina v ustálené poloze vzdálená od obou rysek o stejnou hodnotu.

### **3.3 Kalibrace zednické vodováhy se sklonoměrem**

Kalibrace zahrnuje:

- Kontrola rovinnosti funkčních ploch
- Kontrola libely
- Kalibrace přesnosti stupnice
- Zpracování hodnot, vyhodnocení dle požadavků objednatele kalibrace

Kontrola rovinnosti funkčních ploch a kontrola libely se provádí stejným způsobem jako v bodě 4.2 Kalibrace zednické vodováhy.

#### **3.3.1 Kalibrace přesnosti stupnice**

Kontrolu přesnosti stupnice sklonoměru provádíme na ustavené průměrné desce pomocí série úhelníků (45°, 60°, 90°). Postup kalibrace se liší podle způsobu provedení sklonoměru, buďto mechanický nebo digitální.

Kalibrace přesnosti stupnice mechanického provedení sklonoměru provádíme postupným přikládáním na úhelníky položené na ustavené průměrné desce. Po přiložení na etalon je vždy nutné natočením sklonoměru ustavit bublinu do rovnovážné polohy. Naměřené hodnoty zaznamenáme.

Obdobně provádíme kalibraci zednické vodováhy s digitálním sklonoměrem, ale zde je nutné před měřením provést vynulování dle návodu. Vodováhu postupně přikládáme nejprve na ustavenou průměrnou desku a na ní postavené úhelníky. Zaznamenáváme hodnoty odečtené na displeji.

### **3.4 Kalibrace podélné vodováhy**

Kalibrace zahrnuje:

- Kontrola rovinnosti průměrných ploch
- Kalibrace nulové polohy
- Kalibrace citlivosti
- Zpracování hodnot, vyhodnocení dle požadavků objednatele kalibrace

#### **3.4.1 Kontrola rovinnosti průměrných ploch**

Odchylka rovinnosti a přímosti průměrných ploch se zjišťuje pomocí nožového pravítka, nebo na průměrné desce potřené tupírovací barvou. Podle otisku barvy je posuzována kvalita kontrolované plochy. Předpokladem je, že musí lícovat 60% plochy.

Rovinnost prizmatické plochy se kontroluje pomocí kontrolního trnu Ø65 mm, potřené tušírovací barvou. Rovinnost vyhovuje je-li úchylka v toleranci, tj. lícuje-li minimálně 60% plochy označené přímkou.

#### **3.4.2 Kalibrace nulové polohy**

Přípravek tvořený sinusovým pravítkem délky 300 mm s upevněným číselníkovým úchylkoměrem se ustaví do vodorovné polohy pomocí etalonové vodováhy. Na sinusové pravítko se položí kontrolovaná vodováha. Ve vodorovné poloze musí být bublina hlavní i příčné libely ve střední poloze. Není-li, otáčením šroubu měníme sklon sinusového pravítka než bublina dosáhne střední polohy. Chyba nulové polohy získáme odečtením hodnoty z číselníkového úchylkoměru a následným přepočtem dle citlivosti libely.

Vodováhu otočíme o 180° kolem svislé osy a po ustálení provedeme kontrolu znovu.

#### **3.4.3 Kalibrace citlivosti**

Přípravek se ustaví do nulové polohy, tak aby se okraj bubliny kryl s ryskou na libele. Otáčením šroubu přípravku měníme sklon sinusového pravítka s uloženou libelou, tak aby se bublina posunula o jeden dílek stupnice libely. Odchylku zjistíme na číselníkovém úchylkoměru a následným přepočtem dle citlivosti libely.

Libela vyhovuje, nepřesáhla-li skutečná citlivost stanovené hodnoty citlivosti o  $\pm 20\%$ .

## 4 Rozbor metod měření

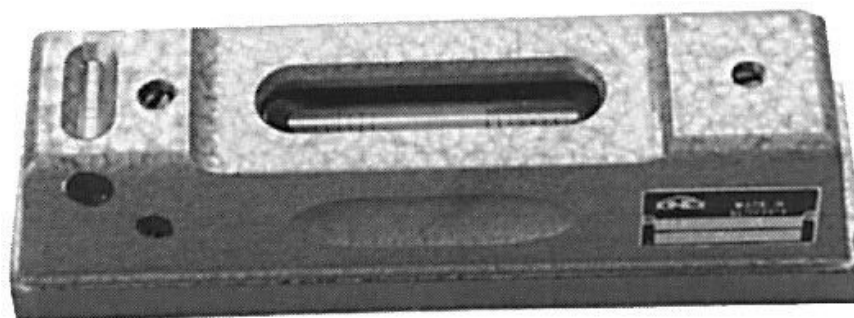
Firma UNIMETRA spol. s r.o. nabízí ve svém sortimentu kalibračních služeb kalibraci vodováh, která je cílem této diplomové práce. Jedná se především o kalibraci zednických vodováh a strojních libel. Typickým zastoupením této skupiny měřidel jsou tři vybraná měřidla, která budou použita pro experimentální měření a návrhové vylepšení přípravku.

První ze třech vybraných měřidel je zednická vodováha s digitálním sklonoměrem, zobrazena na obr. 17. Jedná se o produkt firmy STABILA s.r.o., typ 196-2 electronic délky 600 mm s jednou podélnou a dvěma příčnými libelami. Tento typ je osazen dvěma digitálními displeji pro odčítání hodnot i shora. Citlivost libely je 12 mm/m. Přesnost elektronického sklonoměru je v rozsahu  $1^\circ - 89^\circ \pm 0,2^\circ$ . V rozsahu  $0^\circ - 1^\circ$  a  $89^\circ - 90^\circ$  je přesnost sklonoměru  $\pm 0,05^\circ$ .



*Obr. 17: Zednická vodováha s digitálním sklonoměrem*

Druhým měřidlem, zastupující skupinu kalibrovaných vodováh v podniku UNIMETRA spol. s r.o. je strojní podélná vodováha III. stupně přesnosti s citlivostí 0,18 mm/m, zobrazena na obr. 18. Tato vodováha funkční délky 250mm je provedena dle ČSN 25 5721.1, vybavena hlavní podélnou a jednou příčnou libelou vsazené do litinového těla s přesně opracovanou funkční plochou.



*Obr. 18: Podélná strojní vodováha*

Na obr. 19 je ukázáno poslední vybrané měřidlo, které v experimentálních činnostech vystupuje jako etalon. Jedná se o rámovou strojní vodováha I. stupně přesnosti, s citlivostí 0,02mm/m. Provedení dle ČSN 5739.1. Délky tří funkčních prizmatických ploch jsou 200mm. Vodováha je osazena podélnou a příčnou libelou.



*Obr. 19: Rámová strojní vodováha*

Cílem této diplomové práce je realizace a zhodnocení přípravku pro kalibraci zednických vodováh, dle požadavků a finančních prostředků poskytnutých firmou UNIMETRA spol. s r.o., umožňujícího především zrychlený proces kalibrace zednických vodováh a zednických vodováh se sklonoměrem.

Požadavkem je rozsah kontroly sklonů v rozmezí 360° s dostatečně dlouhou ložnou plochou, pro dlouhé měřidla přesahujících svojí délkou 1,5m. Přípravek musí být schopen přenášet zatížení hmotnějších měřidel, využívaných jako etalonu pro ustavení přípravku před samotným měřením. Dalším požadavkem je schopnost přípravku setrvat v požadovaném sklonu během měření, pro snadnější manipulaci s měřidly.

Realizovaný přípravek bude nahrazovat současný způsob kalibrace zednických vodováh a zednických vodováh se sklonoměrem. Z kalibračního postupu vymizí manipulace s jinými pomůckami, jako jsou úhelníky nebo granitový normál. Díky rozsahu sklonů v rozmezí  $360^\circ$  nebude potřeba kalibrované měřidlo otáčet o  $180^\circ$  podle jeho svislé osy, tento úkon se značně komplikuje především při kontrole a kalibraci dlouhých měřidel. Přípravek umožní kvalitnější měření zejména dlouhých zednických vodováh díky své dlouhé ložné ploše.

Primárním cílem je usnadnění pracovních úkonů v procesu kalibrace zednických vodováh a zrychlení samotného kalibračního procesu a rozšíření sortimentu kalibrovaných měřidel o zednické vodováhy dosahujících délek až 2m.

Předpokladem unifikace kalibračního postupu kalibrace vodováh ve firmě UNIMETRA spol. s r.o. je využitelnost tohoto přípravku i pro kalibraci strojních vodováh IV. a III. stupně přesnosti. Jelikož tato část přesahuje rámec této práce, bude řešena pouze jako návrh pro zlepšení. Přehled citlivostí pro dané stupně přesností jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 2: Přehled stupňů přesností libel a rozsahu citlivostí

Stupeň přesnosti	Citlivost v mm/m
I	0,02 – 0,05
II	0,05 – 0,1
III	0,1 – 0,2
IV	0,2 – 0,3



## **5 Výběr metody**

Nově navržený způsob kalibrace vodováh se vztahuje na kalibraci zednických vodováh a zednických vodováh se sklonoměrem a je přiložen k práci jako příloha A. Kalibrace se provádí na přípravku pro kalibraci vodováh.

Přípravek pro kalibraci vodováh je potřeba před samotnou kalibrací ustavit do nulové polohy. Pro toto ustavení je používán etalonové měřidlo uvedené v kapitole 4, kterým je rámová zednická vodováha s citlivostí 0,02mm/m. Etalonová vodováha je položena na rameno přípravku a po ustavení ramena do vodorovné polohy dojde k vynulování hodnot na displeji přípravku. Pro snadnější nastavení přípravku do vodorovné polohy, je nutno použít odnímatelný šroub jemného stavění. Ten je po ustavení přípravku potřeba odebrat z pracovního prostoru přípravku.

Vodováhy jsou k ramenu pro snadnější manipulaci přichyceny upínacím mechanismem. Pro setrvání přípravku v dané poloze je možno využít aretačních šroubů na horní i dolní straně pouzdra přípravku. Naměřené hodnoty jsou zaznamenávány z digitálního displeje přípravku.

### **5.1 Příprava kalibrace**

Podmínky kalibrace:

- Kalibrace se provádí při teplotě  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

Potřeby ke kalibraci:

- Příměrná deska, nožové pravítko
- Přípravek ke kalibraci vodováh

Pomůcky:

- Čistící prostředky (technický benzin, štětec, utěrky)
- Tušící barva
- Pracovní stůl

Příprava měřicího zařízení:

- Kalibrovaná měřidla se nechají před samotnou kalibrací v místnosti s teplotou  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  pro vyrovnání teploty po dobu 30 minut
- Příprava pomůcek a nástrojů
- Očištění měřidla a jeho funkčních ploch

Prohlídka zařízení:

- Kontrola značení na měřidle
- Kontrola funkčních ploch měřidla
- Kontrola libely
- Kontrola čitelnosti stupnice sklonoměru
- Kontrola čitelnosti displeje

Funkční zkouška:

- Kontrola plynulosti pohybu bubliny v libele
- Funkčnost displeje a načítání hodnot při změně polohy
- Funkčnost elektroniky
- Pohyblivost otočných částí sklonoměru

## **5.2 Kalibrace zednické vodováhy**

Kalibrace zahrnuje:

- Kontrola rovinnosti funkčních ploch
- Kontrola libely
- Zpracování hodnot, vyhodnocení dle požadavků objednatele kalibrace

### **5.2.1 Kontrola rovinnosti funkčních ploch**

Kontrolu rovinnosti funkčních ploch měřidla provádíme na příměrné desce nebo pravítku dle délky funkční plochy vodováhy. Odchylku rovinnosti zjišťujeme metodou na průsvit pomocí spároměru. Dovolené odchylky rovinnosti ukazuje tab. 1.

### **5.2.2 Kontrola libely**

#### **Horizontální poloha**

Na ustavený přípravek pro kalibraci vodováh položíme zednickou vodováhu, vizuálně zkontrolujeme polohu bubliny vůči ryskům hlavní libely. Poloha ramena přípravku pro kalibraci vodováh musí být zajištěna v nulové poloze. Libela vyhovuje, je-li bublina v ustálené poloze vzdálená od obou rysek o stejnou hodnotu.

#### **Vertikální poloha**

Řádně vyrovnané rameno přípravku pro kalibraci vodováh natočíme do svislé polohy, tak aby se na displeji zobrazila hodnota  $90^\circ$  v módu měření  $0^\circ - 90^\circ$ . Přiložíme a uchytíme k němu kontrolovanou vodováhu. Vizuálně zkontrolujeme polohu bubliny příčné libely. Libela vyhovuje, je-li bublina v ustálené poloze vzdálená od obou rysek o stejnou hodnotu.

### 5.3 Kalibrace zednické vodováhy se sklonoměrem

Kalibrace zahrnuje:

- Kontrola rovinnosti funkčních ploch
- Kontrola libely
- Kalibrace přesnosti stupnice
- Zpracování hodnot, vyhodnocení dle požadavků objednatele kalibrace

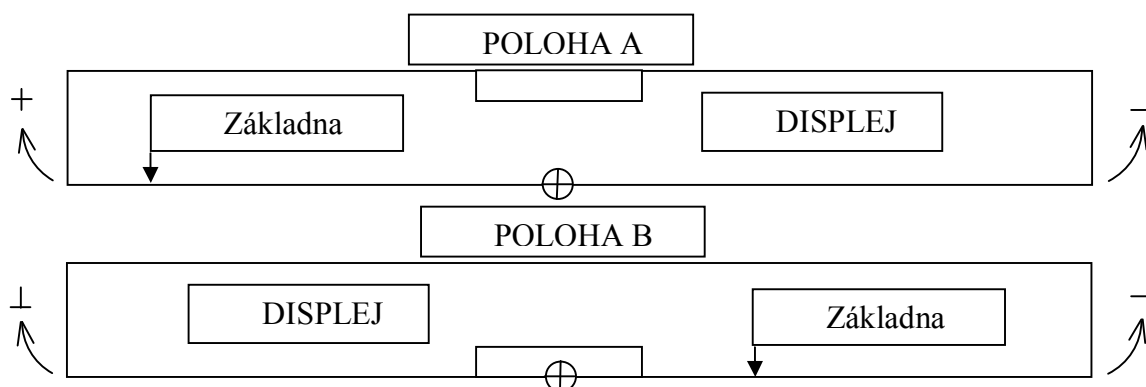
Kontrola rovinnosti funkčních ploch a kontrola libely se provádí stejným způsobem jako v bodě 5.2 Kalibrace zednické vodováhy.

#### 5.3.1 Kalibrace přesnosti stupnice

Kalibrace přesnosti stupnice sklonoměru je potřeba provést ve vztahu k oběma funkčním plochám zednické vodováhy. Kalibraci provádíme na ustaveném přípravku pro kalibraci vodováh. Na rameno přípravku upevníme vodováhu, tak aby její hlavní libela směřovala vzhůru a displej sklonoměru směřoval k pracovníkovi, do polohy A dle obr. 20.

Natáčením ramene přípravku měníme polohu tak, až se na displeji kalibrované vodováhy zobrazí požadované kontrolované úhly  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  a  $90^\circ$ . V těchto polohách zaznamenáme naměřenou úhlovou hodnotu z displeje přípravku pro kalibraci vodováha.

Kalibraci provádíme v kladném i záporném směru otáčení naznačeném na obr. 20. Po provedení kontroly v kladném i záporném směru otočíme vodováhu, do polohy B a provedeme kontrolu pro druhou funkční plochu.

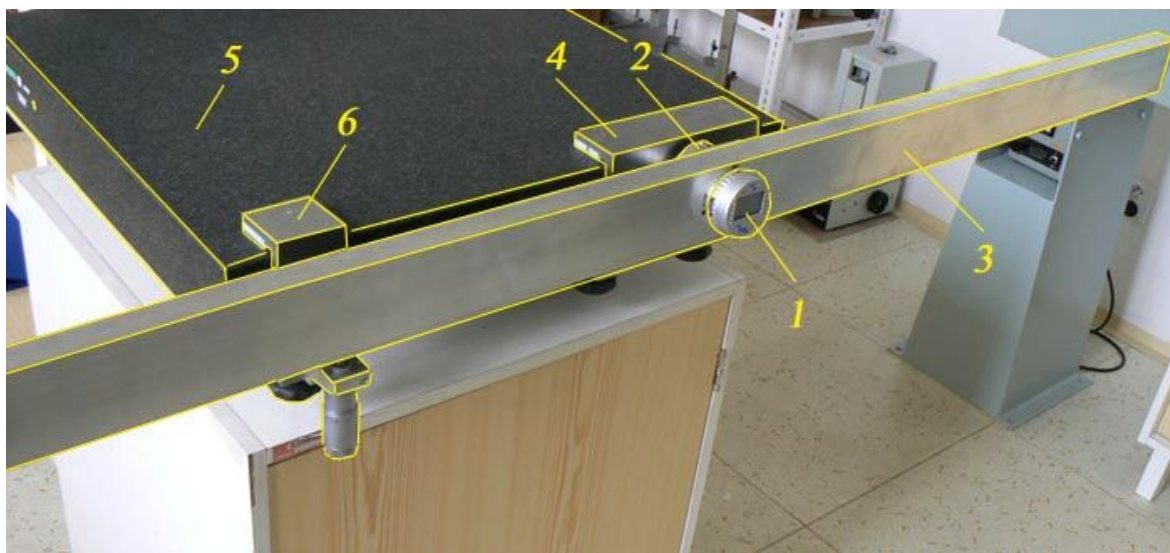


Obr. 20: Schéma polohy A a B s jejich smyslem otáčení při kalibraci sklonoměru

## 6 Konstrukční návrh přípravků a snímačů pro kalibraci

Součástí této diplomové práce je realizace přípravku pro kalibraci vodováh ve firmě UNIMETRA spol. s r.o.. Vytvořený přípravek je na obr. 21. Kalibrace na tomto přípravku nahrazuje soubor kalibračních činností dosavadního kalibračního postupu kalibrace zednických vodováh a zednických vodováh se sklonoměrem. Celý kalibrační proces zednických vodováh, zednických vodováh se sklonoměrem a v budoucnu i strojních libel III. a IV. skupiny přesnosti bude proveden na jednom pracovišti s nižším počtem pomůcek a pracovních úkonů.

Výrobní dokumentace realizovaného přípravku je k práci přidána formou příloh B – H.



Obr. 21: Přípravek pro kalibraci vodováh vytvořený ve firmě UNIMETRA spol. s r.o.

Základním prvkem přípravku pro kalibraci vodováh je dle požadavků firmy UNIMETRA spol. s r.o. digitální úhloměr 1, který na svém displeji zobrazuje úhel odklonění nosného ramena 3 přípravku od základní roviny. Digitální úhloměr je nalisován do pouzdra 2 s nosným ramenem 3, na které se umísťují kalibrované měřidla a spojen s čepem procházejícím tělem přípravku. Otočením ramene 3 dochází ke generování úhlu vůči základně. Čep umístěný v těle přípravku je na čelní ploše spojen s otočným mechanismem digitálního úhloměru 1 a také s pouzdrem 2 nesoucí hlavní část přípravku pomocí ložiska. Čep je uchycen k nosníku 4, který slouží pro upnutí ke granitové desce 5.

Přídavnou částí přípravku je mechanismus jemného stavění 6 nulové polohy ve vodorovné rovině. V současné době je tento mechanismus realizován pomocí analogové mikrometrické hlavice, která by v budoucnu mohla být nahrazena digitální hlavicí pro snadný odečet hodnot. Toto řešení by mělo umožnit náhradu stávajícího způsobu kalibrace strojních podélných vodováh nižších stupňů přesnosti a unifikovat celý pracovní postup na jedno pracoviště.

Přípravek je vždy nutné před samotnou kalibrací ustavit do nulové polohy pomocí etalonového měřidla. Přípravek musí být schopen zachovat toto ustavení po celou dobu měření a odchylku od nulové polohy určit v libovolný okamžik měření.

Kalibrační přípravek musí pracovat v rozsahu měření  $360^\circ$  s předpokladem dostatečně dlouhé ložné plochy i pro zednické vodováhy přesahující svojí délkou 1,5m. Zároveň je požadovaná nosnost pro hmotnější měřidla jako jsou rámové vodováhy.

Umístění přípravku na pracovišti bude pomocí upínacího zařízení na granitovou příměrnou desku.

### **Digitální úhloměr**

Základním tělesem přípravku pro kalibraci vodováh se stal digitální úhloměr, zobrazený na obr. 22, s rozsahem měření  $0^\circ - 360^\circ$  s odečítáním po  $30'' / 0,001^\circ$ . Přesnost měření  $\pm 5'$ . Provozní podmínky předpokládají teploty v rozsahu  $0 - 40^\circ\text{C}$  a relativní vlhkost nepřesahující hodnotu 80%. Výrobce KINEX CZ s.r.o..

Digitální úhloměr umožňuje měnit rozsah zobrazovaných hodnot v několika módech. A to pro rozsahy  $0^\circ - 90^\circ$ ,  $0^\circ - 180^\circ$  a  $0^\circ - 360^\circ$ . Je možné také měnit směr načítání kladných hodnot.



*Obr. 22: Digitální úhloměr použitý pro realizaci přípravku ke kalibraci vodováh*

Nadbytečné části úhloměru byly demontovány, použito bylo pouze hlavní těleso obsahující samotný otočný mechanismus úhlohloměru spojený s displejem. Obě tyto části jsou uloženy v pouzdře digitálního úhloměru.

Načítací otočný mechanismus je realizován pomocí ozubení mezi pevnou a otočnou částí měřidla. Ozubení z demontované části víka úhloměru bylo přeneseno na čep přípravku, který je spojen s pevnou částí digitálního úhloměru.

Pohyblivou částí úhloměru je pouzdro se vsazeným displejem, jehož otáčením dochází k načítání hodnot zobrazujících se na displeji. Tato část byla vlisována do pouzdra přípravku, které nese rameno pro uložení měřidel během kalibrace. Digitální úhloměr vsazený do těla přípravku pro kalibraci vodováh je ke shlédnutí na obr. 23.



*Obr. 23: Vsazený digitální úhloměr v přípravku pro kalibraci vodováh*

### **Pouzdro**

Pouzdro přípravku pro kalibraci vodováh je zobrazeno na obr. 24, plní funkci pevného spojení mezi samotným digitálním úhloměrem a ramenem pro uložení kalibrovaného měřidla. V těle pouzdra je vlisované jehlové ložisko, které přenáší zatížení na čep spojený se základnou přípravku.



*Obr. 24: Pouzdro přípravku kalibrace vodováh*

Do pouzdra je také vsazen brzdící kroužek, kterým je možno pomocí dvou šroubů zvyšovat třecí sílu působící na čep. Těmito šrouby je možno vyvinout dostatečně velkou tlakovou sílu na brzdící kroužek, který svým přitlakem na čep způsobí aretaci pouzdra s ramenem v požadovaném sklonu. Tyto aretační šrouby zachycuje obr. 25.



*Obr. 25: Aretační šrouby určující přitlak brzdícího kroužku*



## **Rameno**

Rameno přípravku pro kalibraci vodováh je vyrobeno z obdélníkového profilu rozměrů 80x30x2 délky 1800mm. Materiál je hliníková slitina 6060.T66. Rameno slouží pro uložení kontrolovaného měřidla během kalibrace, tak jak je zobrazeno na obr. 26. Délka ramena 1800mm umožňuje kvalitní uložení i dlouhých měřidel během celého procesu kalibrace. Rameno je spojeno s pouzdem šroubovým spojením pomocí čtyř šroubů se zápusťnou hlavou.



*Obr. 26: Uložení zednické vodováhy na rameni přípravku pro kalibraci vodováh*

## **Čep**

Čep ukrytý v pouzdu přípravku pro kalibraci vodováh, plní funkci spojení pevné části digitálního úhlooměru se základnou a zároveň pomocí ložiskového uložení přenáší zatížení vznikající uložení měřidla na rameni. Na čep bylo nalisováno ozubení demontované z víka digitálního úhlooměru, které zapadá do pastorku otočné části úhlooměru.

Čep je uchycen k upínacímu nosníku, který slouží pro ustavení přípravku k pracovní ploše granitové desky.



*Obr. 27: Čep přípravku pro kalibraci vodováh*

### **Šroub pro jemné ustavení**

Pro účely jemného ustavení ve vodorovné poloze byla instalována odnímatelná soustava se šroubem pro jemné ustavení. Na obr. 28 je vidět, že tento mechanismus byl realizován pomocí mikrometrické hlavice. Tento prvek musí být odnímatelný z důvodu možnosti otáčení přípravku v rozsahu  $360^\circ$ .

Protože, digitální úhloměr neposkytuje dostatečnou přesnost pro kalibraci strojních vodováh, je potřeba hledat jiné řešení snímání polohy ramene přípravku s uloženým měřidlem. Právě tento prvek poskytuje možnost sloučení kalibračního postupu zednických vodováh i strojních vodováh na jedno pracoviště. Tato záležitost však přesahuje jak rozpočet vložený do realizace samotného přípravku, tak primární požadavek stanovený firmou UNIMETRA spol. s r.o., kterým je využitelnost přípravku pro kalibraci zednických vodováh a zednických vodováh se sklonoměrem. Proto v práci bude řešena pouze formou teoretického vylepšení.

Za předpokladu že by v tomto mechanismu byla použita digitální mikrometrická hlavice s kulovým dotek umístěný ve vzdálenosti 500mm, bylo by možno nahradit stávající způsob kalibrace strojních vodováh použitím takto modifikovaného přípravku pro kalibraci vodováh.

Otáčením mikrometrického šroubu digitálního mikrometru by docházelo ke změně polohy ramena s možností okamžitého odečtu hodnot z displeje digitálního mikrometru. Tyto hodnoty, je potřeba přepočíst na úhlový rozměr.



*Obr. 28: Odnímatelná soustava mechanismu jemného stavění ve vodorovné poloze*

## **7 Vlivy a podmínky měření**

Experimentální měření vybraných měřidel byla prováděna v akreditované kalibrační firmě UNIMETRA spol. s r.o. Teplota v místnosti je udržována na teplotě  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Kontrolovaná měřidla je před samotnou kalibrací nutno nechat temperovat v místnosti pro vyrovnání teploty.

Pro kalibraci byly použity:

- Průměrná deska 0. třídy přesnosti dle DIN 876
- Normál  $L = 400\text{mm}$  00 třídy dle DIN 875
- Úhelníky  $45^{\circ}$  a  $60^{\circ}$  2. třídy přesnosti dle DIN 875
- Sinusové pravítko  $L = 300\text{mm}$  2. třída přesnosti ČSN 25 3710
- Úchylkoměr s dělením  $0,001\text{mm}$
- Digitální úhloměr s dělením  $0,001^{\circ}$

Kontrolovaným měřidlem je zednická vodováha se sklonoměrem typ 196-2 electronic, výrobce STABILA s.r.o. Digitální stupnice sklonoměru má v rozsahu  $0^{\circ} - 1^{\circ}$  a  $89^{\circ} - 90^{\circ}$  načítání hodnot po  $0,05^{\circ}$  v rozsahu  $1^{\circ} - 89^{\circ}$  jsou hodnoty načítání po  $0,1^{\circ}$ .

## 8 Výpočet nejistoty měření

**Nejistota měření** charakterizuje rozsah naměřených hodnot okolo výsledku měření, který lze zdůvodněně přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Nejistota měření se týká nejen výsledku měření, ale i měřicích přístrojů, hodnot použitých konstant, korekcí apod., na kterých nejistota výsledku měření závisí. Základem určování nejistot měření je statistický přístup. Předpokládá se určité rozdělení pravděpodobnosti, které popisuje pravděpodobnost, s jakou se v intervalu daném nejistotou může nacházet skutečná hodnota předmětné veličiny. [7], [8]

Ukazatelem nejistoty měření je směrodatná odchylka udávané veličiny. Takto vyjádřená nejistota se označuje jako standardní nejistota  $u$  a představuje rozsah hodnot okolo naměřené hodnoty. Standardní nejistota zajišťuje výsledek v intervalu s pravděpodobností cca. 68,3%. Standardní nejistoty se dělí na standardní nejistoty typu A a typu B. Udávají se buď samostatně bez znaménka nebo za hodnotou výsledku se znaménkem  $\pm$ . [7], [8]

**Standardní nejistoty typu A -  $u_A$**  jsou způsobovány náhodnými chybami, jejichž příčiny se považují všeobecně za neznámé. Stanovují se z opakovaných měření stejné hodnoty měřené veličiny za stejných podmínek. Tyto nejistoty se stoupajícím počtem opakovaných měření se zmenšují. Předpokládá existence náhodných chyb s normálním rozdělením. [8]

**Standardní nejistoty typu B -  $u_B$**  jsou způsobovány známými a odhadnutelnými příčinami vzniku. Jejich identifikaci a základní hodnocení provádí experimentátor. Tyto nejistoty vycházejí z různých zdrojů a výsledná nejistota typu B je dána jejich sumací, přitom nezávisí na počtu opakovaných měření. [8]

**Kombinovaná standardní nejistota -  $u_C$**  je geometrickým součtem nejistot typu A a B. Kombinovaná standardní nejistota udává interval, ve kterém se s pravděpodobností cca. 68,3% vyskytuje skutečná hodnota měřené veličiny.

**Rozšířená standardní nejistota  $U$**  se zavádí v případě, že je třeba zajistit pokrytí výsledku s touto nejistotou s vyšší pravděpodobností. Získá se tak, že se kombinovaná standardní nejistota  $u_C$  vynásobí součinitelem rozšíření  $k_u$ .

Pro vzorový výpočet nejistot bude využito hodnot naměřených při kontrole sklonoměru zednické vodováhy 196-2 electronic firmy STABILA s.r.o. pro kontrolovaný úhel  $60^\circ$ . Hodnoty byli zaznamenány v úhlových stupních při kontrole sklonoměru měřidla na přípravku pro kalibraci vodováh v kladném smyslu otáčení dle obr. 20. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 3. Výpočty byly provedeny v programu Microsoft Excel.

Tab. 3: Naměřené hodnoty sklonoměru zednické vodováhy pro úhel  $60^\circ$

Úhel [°]	$x_1$ [°]	$x_2$ [°]	$x_3$ [°]	$x_4$ [°]	$x_5$ [°]
60	59,95	59,979	59,958	59,993	59,977

## 8.1 Výpočet standardní nejistoty typu A – $u_A$ :

Standardní nejistota typu A odpovídá směrodatné odchylce výběrového aritmetického průměru  $s(\bar{x})$  z rovnice (9).

Pokud je počet opakovaných měření menší než deset určí se korigovaná nejistota  $u_{Ak}$  ze vztahu:

$$u_{Ak} = k \cdot s(\bar{x}) \quad (10)$$

kde  $k$  je koeficient závislý na počtu opakovaných měření dle tab. 4.

Tab. 4: Hodnoty korekčních koeficientů pro různé počty opakování měření

n	9	8	7	6	5	4	3	2
k	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7

Tab. 5: Vypočtené hodnoty programem Excel

n	$x_i$ [°]	$x_i - \bar{x}$ [°]	$(x_i - \bar{x})^2$ [°]
1	59,95	-0,0214	0,00045796
2	59,979	0,0076	5,776E-05
3	59,958	-0,0134	0,00017956
4	59,993	0,0216	0,00046656
5	59,977	0,0056	3,136E-05
$\bar{x} = 59,9714$			$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 0,0011932$

$$s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,0011932}{5 \cdot 4}} = 0,043^\circ$$

## 8.2 Výpočet standardní nejistoty typu B – $u_B$ :

Na základě kvalifikovaného odhadu byly vytipovány tyto zdroje nejistot:

- Chyba ustavení přípravku v nulové poloze
- Chyba odečtu na etalonovém měřidlu při ustavení nulové polohy
- Maximální chyba digitálního úhloměru přípravku
- Chyba odečtu na digitálním úhloměru přípravku
- Chyba odečtu na kalibrované vodováze

Výsledná standardní nejistota typu B se vypočte ze vztahu:

$$u_B = \sqrt{\sum u_{Zi}^2} \quad (11)$$

kde  $u_Z$  je standardní nejistota výše zmíněných zdrojů nejistot

Standardní nejistota  $u_{zi}$  těchto zdrojů se určí převzetím hodnot nejistot z technické dokumentace, jako jsou certifikáty, kalibrační listy, technické normy, údaje výrobců technické tabulky apod.

Standardní nejistotu  $u_z$  je rovněž možno stanovit výpočtem ze vzorce:

$$u_{Zi} = \frac{Z_i}{m} \quad (12)$$

kde  $Z_i$  je odchylka od jmenovité hodnoty tak, aby její překročení bylo málo pravděpodobné. Hodnota  $m$  závisí na druhu rozdělení,  $m = 2$  pro normální rozdělení,  $m = \sqrt{3}$  pro rovnoměrné rozdělení.

**Chyba ustavení přípravku v nulové poloze**

Chyba ustavení přípravku do nulové polohy pomocí etalonové strojní vodováhy s citlivostí 0,02mm/m uvedené v kapitole 4. Dovolena chyba nulové polohy libely 1/5 dílku odpovídá hodnotě 4μm/m. Předpokladem je rovnoměrné rozložení.

$$Z_1 = 4\mu\text{m} / m = 0,000229^\circ$$
$$u_{Z1} = \frac{Z_1}{m} = \frac{0,000229}{\sqrt{3}} = 0,000132^\circ$$

**Chyba odečtu na etalonovém měřidlu při ustavení nulové polohy**

Chyba odečtu nulové polohy bublinu na etalonové strojní vodovaze s citlivostí 0,02mm/m. Odhad 0,1 dílku odpovídá hodnotě 2μm/m. Předpokladem je rovnoměrné rozložení.

$$Z_2 = 2\mu\text{m} / m = 0,000114^\circ$$
$$u_{Z2} = \frac{Z_2}{m} = \frac{0,000114}{\sqrt{3}} = 0,000069^\circ$$

**Maximální chyba digitálního úhloměru přípravku**

Maximální chyba digitálního úhloměru využitého pro konstrukci přípravku uvedená výrobcem je ±5'. Předpokladem je rovnoměrné rozdělení.

$$Z_3 = 5' = 0,083^\circ$$
$$u_{Z3} = \frac{Z_3}{m} = \frac{0,083}{\sqrt{3}} = 0,04792^\circ$$

**Chyba odečtu na digitálním úhloměru přípravku**

Chyba odečtu na digitální stupnici úhloměru přípravku, odhad 1 dgit odpovídá hodnotě 0,001°. Předpokladem je rovnoměrné rozdělení.

$$Z_4 = 0,001^\circ$$
$$u_{Z4} = \frac{Z_4}{m} = \frac{0,001}{\sqrt{3}} = 0,000577^\circ$$

### Chyba odečtu na kalibrované vodováže

Chyba odečtu na stupnici sklonoměru na kalibrované vodováže. Pro analogovou stupnici s dělením  $1^\circ$  je odhad 0,2 dílku stupnice. Pro digitální stupnice sklonoměru je odhad roven 1dgitu stupnice, tedy pro stupnice s dělením  $0,1^\circ$  odpovídá odhad hodnotě  $0,1^\circ$ , pro dělení  $0,05^\circ$  je odhad roven  $0,05^\circ$ . Předpokladem je rovnoměrné rozdělení.

Načítání hodnot na digitálním displeji kontrolované vodováhy je po  $0,1^\circ$  v rozsahu sklonu  $1^\circ - 89^\circ$ .

$$Z_5 = 0,1^\circ$$

$$u_{Z5} = \frac{Z_5}{m} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,0577^\circ$$

Výsledná nejistota typu B se vypočte ze vztahu (11)

$$u_B = \sqrt{\sum u_{Zi}^2} = \sqrt{u_{Z1}^2 + u_{Z2}^2 + u_{Z3}^2 + u_{Z4}^2 + u_{Z5}^2} = \sqrt{0,005626} = 0,075^\circ$$

### 8.3 Výpočet kombinované standardní nejistoty – $u_C$ :

Kombinovaná standardní nejistota  $u_C$  se vypočte ze vztahu (13).

$$u_C = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} \quad (13)$$

$$u_C = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} = \sqrt{(0,043^2 + 0,075^2)} = 0,086^\circ$$

### 8.4 Výpočet rozšířené standardní nejistoty U:

Pro výpočet rozšířené standardní nejistoty U pro 95% pravděpodobnost správného pokrytí výsledku je potřeba uvažovat součinitel rozšíření  $k_u = 2$ . Rozšířenou standardní nejistotu U vypočteme ze vztahu (14).

$$U = k_u \cdot u_C \quad (14)$$

kde  $k_u$  je koeficient rozšíření.

$$U_{95} = k_u \cdot u_C = 2 \cdot 0,086 = 0,172^\circ$$



## **9 Praktické ověření**

Cílem praktického ověření je porovnání současného stavu s nově navrhovanou metodou kalibrace zednických vodováh. Praktické ověření je prováděno za podmínek uvedených v kapitole 7.

Ověření bylo provedeno na jednom měřidle za stejných podmínek vnějších vlivů. Měřidlem pro praktické ověření byla zednická vodováha se sklonoměrem, jejíž podrobný popis je uveden v kapitole 4. Kontrolován byl sklonoměr zednické vodováhy, v rozsahu  $0^\circ - 90^\circ$  pro obě funkční plochy měřidla, dle obr. 20. Kontrola probíhala v souladu s kalibračním postupem.

Hodnoty rozšířených standardních nejistot naměřených hodnot byly pro stávající způsob kalibrace převzaty s kalibračních listů akreditované kalibrační laboratoře firmy UNIMETRA spol. s r.o.. Pro nově navrhovanou metodu kalibrace na přípravku pro kalibraci vodováh byla nejistoty spočteny dle rozboru a výpočtu nejistot měření v kapitole 8, kde je uveden vzorový výpočet nejistot měření.

Praktické ověření je rozděleno na dvě části. První část se zabývá současným stavem a kalibračním postupem používaným firmou UNIMETRA spol. s r.o.. Kontrola sklonoměru pro  $0^\circ$  probíhá na průměrné desce,  $90^\circ$  na ustaveném normálu na průměrné desce a úhly  $45^\circ$  a  $60^\circ$  jsou kontrolovány pomocí příslušných úhelníků.

Nově navrhovaný způsob kalibrace vodováh je druhou částí praktického ověření, kdy celý rozsah měření je proveden na přípravku pro kalibraci vodováh, který byl předmětem této diplomové práce.

Závěrem praktického ověření je porovnání a vyhodnocení naměřených výsledků.

## Kontrola sklonoměru na průměrné desce, normálu a úhelnících

## Poloha A kladný směr otáčení:

Tab. 6: Naměřené hodnoty sklonoměru experimentálního měřidla v poloze A+

Úhel [°]	$x_1$ [°]	$x_2$ [°]	$x_3$ [°]	$x_4$ [°]	$x_5$ [°]	$\bar{x}$ [°]	$U_{95}$ [°]
0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0,07
45	44,9	45	45	44,9	45	<b>44,96</b>	0,13
60	60	59,9	60	60	59,9	<b>59,96</b>	0,13
90	89,95	90	89,95	89,95	90	<b>89,97</b>	0,07

## Poloha A záporný směr otáčení:

Tab. 7: Naměřené hodnoty sklonoměru experimentálního měřidla v poloze A-

Úhel [°]	$x_1$ [°]	$x_2$ [°]	$x_3$ [°]	$x_4$ [°]	$x_5$ [°]	$\bar{x}$ [°]	$U_{95}$ [°]
0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0,07
45	44,9	45	44,9	44,9	45	<b>44,94</b>	0,13
60	59,9	60	60	59,9	60	<b>59,96</b>	0,13
90	90	89,95	90	90	90	<b>89,99</b>	0,07

## Poloha B kladný směr otáčení:

Tab. 8: Naměřené hodnoty sklonoměru experimentálního měřidla v poloze B+

Úhel [°]	$x_1$ [°]	$x_2$ [°]	$x_3$ [°]	$x_4$ [°]	$x_5$ [°]	$\bar{x}$ [°]	$U_{95}$ [°]
0	0	0	-0,05	0	0	<b>-0,01</b>	0,07
45	45	45	44,9	44,9	45	<b>44,96</b>	0,13
60	59,9	60	60	59,9	59,9	<b>59,94</b>	0,13
90	89,95	89,95	90	89,95	90	<b>89,97</b>	0,07

## Poloha B záporný směr otáčení:

Tab. 9: Naměřené hodnoty sklonoměru experimentálního měřidla v poloze B-

Úhel [°]	$x_1$ [°]	$x_2$ [°]	$x_3$ [°]	$x_4$ [°]	$x_5$ [°]	$\bar{x}$ [°]	$U_{95}$ [°]
0	0	0	0	-0,05	0	<b>-0,01</b>	0,07
45	45	44,9	44,9	44,9	45	<b>44,94</b>	0,13
60	59,9	59,9	60	60	60	<b>59,96</b>	0,13
90	90	89,95	89,95	90	90	<b>89,97</b>	0,07

## Kontrola sklonoměru na přípravku pro kalibraci vodováh

### Poloha A kladný směr otáčení:

Tab. 10: Naměřené hodnoty sklonoměru experimentálního měřidla v poloze A+

Úhel [°]	$x_1$ [°]	$x_2$ [°]	$x_3$ [°]	$x_4$ [°]	$x_5$ [°]	$\bar{x}$ [°]	$U_{95}$ [°]
0	-0,001	-0,002	0	0,001	0	<b>-0,001</b>	0,12
45	44,941	44,989	44,966	44,985	44,978	<b>44,972</b>	0,17
60	59,95	59,979	59,958	59,993	59,977	<b>59,972</b>	0,17
90	89,971	89,968	89,973	89,972	89,978	<b>89,973</b>	0,12

### Poloha A záporný směr otáčení:

Tab. 11: Naměřené hodnoty sklonoměru experimentálního měřidla v poloze A-

Úhel [°]	$x_1$ [°]	$x_2$ [°]	$x_3$ [°]	$x_4$ [°]	$x_5$ [°]	$\bar{x}$ [°]	$U_{95}$ [°]
0	0,003	-0,001	0,001	-0,002	0,003	<b>0,001</b>	0,12
45	44,962	44,984	44,971	44,966	44,992	<b>44,975</b>	0,17
60	59,958	59,969	59,993	59,977	60,006	<b>59,981</b>	0,17
90	89,988	89,991	89,982	89,993	89,985	<b>89,988</b>	0,12

### Poloha B kladný směr otáčení:

Tab. 12: Naměřené hodnoty sklonoměru experimentálního měřidla v poloze B+

Úhel [°]	$x_1$ [°]	$x_2$ [°]	$x_3$ [°]	$x_4$ [°]	$x_5$ [°]	$\bar{x}$ [°]	$U_{95}$ [°]
0	-0,001	0	0,001	-0,001	-0,003	<b>-0,001</b>	0,12
45	44,949	44,98	44,963	44,983	44,976	<b>44,971</b>	0,17
60	59,944	59,975	59,988	59,977	59,993	<b>59,975</b>	0,17
90	89,981	89,978	89,966	89,981	89,991	<b>89,979</b>	0,12

### Poloha B záporný směr otáčení:

Tab. 13: Naměřené hodnoty sklonoměru experimentálního měřidla v poloze B-

Úhel [°]	$x_1$ [°]	$x_2$ [°]	$x_3$ [°]	$x_4$ [°]	$x_5$ [°]	$\bar{x}$ [°]	$U_{95}$ [°]
0	0	-0,001	0	-0,001	-0,002	<b>-0,001</b>	0,12
45	44,966	44,982	44,972	44,976	44,991	<b>44,977</b>	0,17
60	59,964	59,956	59,995	59,971	60,008	<b>59,979</b>	0,17
90	89,968	89,989	89,989	89,987	89,977	<b>89,982</b>	0,12

## Porovnání a vyhodnocení výsledků

### Poloha A kladný směr otáčení:

Tab. 14: Porovnání naměřených hodnot sklonů v poloze A+

Úhel [°]	Současný způsob	Navrhovaný způsob
0°	$(0 \pm 0,07)^\circ$	$(-0,001 \pm 0,12)^\circ$
45°	$(44,96 \pm 0,2)^\circ$	$(44,972 \pm 0,2)^\circ$
60°	$(59,96 \pm 0,2)^\circ$	$(59,972 \pm 0,2)^\circ$
90°	$(89,97 \pm 0,07)^\circ$	$(89,973 \pm 0,12)^\circ$

### Poloha A záporný směr otáčení:

Tab. 15: Porovnání naměřených hodnot sklonů v poloze A-

Úhel [°]	Současný způsob	Navrhovaný způsob
0°	$(0 \pm 0,07)^\circ$	$(0,001 \pm 0,12)^\circ$
45°	$(44,94 \pm 0,2)^\circ$	$(44,975 \pm 0,2)^\circ$
60°	$(59,96 \pm 0,2)^\circ$	$(59,981 \pm 0,2)^\circ$
90°	$(89,99 \pm 0,07)^\circ$	$(89,988 \pm 0,12)^\circ$

### Poloha B kladný směr otáčení:

Tab. 16: Porovnání naměřených hodnot sklonů v poloze B+

Úhel [°]	Současný způsob	Navrhovaný způsob
0°	$(-0,01 \pm 0,07)^\circ$	$(-0,001 \pm 0,12)^\circ$
45°	$(44,96 \pm 0,2)^\circ$	$(44,971 \pm 0,2)^\circ$
60°	$(59,94 \pm 0,2)^\circ$	$(59,975 \pm 0,2)^\circ$
90°	$(89,97 \pm 0,07)^\circ$	$(89,979 \pm 0,12)^\circ$

### Poloha B záporný směr otáčení:

Tab. 17: Porovnání naměřených hodnot sklonů v poloze B-

Úhel [°]	Současný způsob	Navrhovaný způsob
0°	$(-0,01 \pm 0,07)^\circ$	$(-0,001 \pm 0,12)^\circ$
45°	$(44,94 \pm 0,2)^\circ$	$(44,977 \pm 0,2)^\circ$
60°	$(59,96 \pm 0,2)^\circ$	$(59,979 \pm 0,2)^\circ$
90°	$(89,97 \pm 0,07)^\circ$	$(89,982 \pm 0,12)^\circ$

## 10 Celkové technicko ekonomické zhodnocení

### Přehled nákladů kalibrace vodováh a výrobu přípravku pro kalibraci vodováh:

Tab. 18: Výpočet nákladů na výrobu přípravku pro kalibraci vodováh

Zboží	Množství [MJ]	Cena/MJ [Kč]	Cena [Kč]
Profil 80x30x2 mm – jak. 6060.T66	1,80 bm	146,80	246,24
Tyč kruhová D50 h9 – jak. 11 500	0,10 bm	2367,80	236,70
Tyč čtvercová 80x80 mm – jak. 6082.T6	0,10 bm	3167,00	316,70
Tyč čtvercová 36x36 - jak. 6082.T6	0,10 bm	740,00	74,00
Mikrometrická hlavice 0-25mm	1,00 ks	674,00	674,00
Úhloměr digitální 0 - 360st.	1,00 ks	3705,00	3705,00
Tyč plochá 80x12 mm – jak. 11 500	0,40 bm	97,00	38,8,00
Spojovací materiál a ložisko	1,00 ks	150,00	150,00
Výroba a montáž dílů	16,00 hod	430,00	6880,00
Cena bez DPH			12 339,44 Kč

Tab. 19: Přehled časové úspory při zavedení kalibračního přípravku

Kalibrace	Čas před [min.]	Čas po [min.]
Zednické vodováhy se sklonoměrem	90	81
Zednické vodováhy	17	15

Tab. 20: Počet kalibrovaných vodováh v roce 2009

Kalibrace	Kusů
Zednické vodováhy se sklonoměrem	41
Zednické vodováhy	464

Tab. 21: Přehled nákladů na kalibraci vodováh za rok 2009

Kalibrace	Cena/ks [Kč]
Zednické vodováhy se sklonoměrem	645,00
Zednické vodováhy	118,00

Vypočtená roční úspora vychází z údajů poskytnutých firmou UNIMETRA spol. s r.o. za rok 2009, které jsou uvedeny v tab. 19 - 21. V roce 2009 by došlo k úspoře 2644,50 Kč při kalibraci zednických vodováh se sklonoměrem a 6650,50 Kč při kalibraci zednických vodováh. Z tohoto předpokladu lze odhadnout návratnost investic vložených do zhotovení přípravku do 2 let.

Zavedením realizovaného přípravku pro kalibraci vodováh s nově stanoveným kalibračním postupem do procesu kalibrace zednických vodováh a vodováh se sklonoměrem s přesností nad  $0,2^\circ$  ve firmě UNIMETRA spol. s r.o. bude dosaženo požadovaných cílů kladených zadavatelem.

Kalibrační proces bude proveden efektivněji, rychleji a úsporněji. Pracovník nebude nucen provádět zbytečné manipulační úkony s kalibrovaným měřidlem, které se zejména u dlouhých zednických vodováh značně komplikují. Dlouhá funkční plocha ramene přípravku umožní kvalitní uložení měřidla po celou dobu kalibrace bez nutnosti měnit jeho polohu.

Rameno přípravku sloužící pro uložení měřidla při kalibraci poskytuje kvalitní styčnou plochu s funkční plochou i pro velmi dlouhé zednické vodováhy dosahující délky až 2m. Díky tomuto prvku je možné rozšířit sortiment kalibrovaných měřidel

Se zavedením modifikace přípravku pro prvek jemného stavění uvedeném v kapitole 6 je předpokládána rozšiřitelnost využití i pro kalibraci vodováh IV. a III. stupně přesnosti.

Přesnost použitého etalonového digitálního úhloměru udávaná výrobcem je  $\pm 5'$ , toto kritérium umožňuje kalibraci měřidel s přesností  $\pm 0,2^\circ$ . Pro přesnost sklonoměru  $\pm 0,05^\circ$  je potřeba použít přesnější typ digitálního úhloměru s přesností  $\pm 1'$ . Řešení tímto způsobem je ovšem stěžejní, protože cena takového úhloměru se pohybuje řádově v desítkách tisíc korun. Např. pořizovací cena universálního úhloměru s požadovanou přesností od výrobce SYLVAC je 22 238 Kč bez DPH. Toto řešení tedy nepřinese efektivní rentabilitu nákladů vložených do realizace tohoto přípravku.

## **11 Závěr**

Cílem diplomové práce byl rozbor problematiky měření a kontroly rovinného úhlu, jehož poznatky jsou shrnuty v teoretické části. Praktická část se zabývá návrhem, konstrukcí a ověřením kalibračního přípravku pro kalibraci vodováh s využitím digitálního úhlooměru. Zpracovaná výrobní dokumentace a nový kalibrační postup pro kalibraci zednických vodováh a zednických vodováh se sklonoměrem je v práci uvedena formou příloh.

Práce je vypracovávána na základě požadavků, nároků a poskytnutých prostředků firmou UNIMETRA spol. s r.o., která se zabývá kontrolou, kalibrací a prodejem měřidel. Jednou ze služeb poskytovaných touto firmou je i kalibrace vodováh, zejména zednických vodováh a zednických vodováh se sklonoměrem.

UNIMETRA spol. s r.o. od realizace přípravku pro kalibraci vodováh očekává nahrazení stávajícího postupu kalibrace zednických vodováh i zednických vodováh se sklonoměrem s větší efektivností a využitelností.

Zavedení přípravku do procesu kalibrace vodováh a nahrazení stávajícího kalibračního postupu pro výše zmíněná měřidla přinese možnost rozšíření sortimentu kalibrovaných měřidel, zrychlení procesu samotné kalibrace a snížení manipulačních úkonů kladených na pracovníka.

V průběhu práce vyvstali z jednotlivých činností možné návrhy na vylepšení přípravku pro kalibraci vodováh, které rozšiřují možnosti jeho využití. Tyto návrhy byli předány firmě UNIMETRA spol. s r.o. pro další zvážení investic do tohoto přípravku.

## **12 Seznam použité literatury**

- [1] BŘEZINA, I. *Základy metrologie úhlov.* Bratislava : ALFA vydavatelství technické a ekonomické literatury, 1982. 216 s. ISBN 63-050-82.
- [2] MLČOCH, L; SLIMÁK, I. *Řízení kvality a strojírenské metrologie.* Praha : SNTL Nakladatelství technické literatury, 1987. 336 s. ISBN 04-223-87.
- [3] PERNÍKÁŘ, J; TYKAL, M; VAČKÁŘ, J. *Jakost a metrologie.* Brno : VUT Fakulta strojního inženýrství, 2001. 125 s. ISBN 80-214-1997-0.
- [4] *Celostátní seminář pracovníků metrologických středisek délkového oboru.* Ústí nad Labem : Vydavatelství norem, 84 s. ISBN 80-85111-08-X.
- [5] DILLINGER, J. a kol. *Moderní strojírenství.* Praha : Europa-Sobotáles cz. s. r. o., 2007. ISBN 978-80-86706-19-1
- [6] VÁVRA, P. *Strojírenská příručka 2. svazek.1.* Praha : SCIENTIA, 1987. 224 s. ISBN 80-85827-00-X.
- [7] SÁSIK, J. *Viaczložkové snímače síl a momentov: meranie, testovanie a kalibrácia.* 1. vydanie. Bratislava : STU, 2000. 203 s. ISBN 80-227-1438-0.
- [8] HLAVÁČ, V. *Technické měření* [online]. 24.10.2005 [cit. 2010-05-13]. Nejistoty1.pdf. URL: <<http://www.fsid.cvut.cz/tem/nejistoty/nejistoty1.pdf>>.



## **13 Seznam příloh**

Příloha A - Kalibrační postup pro kalibraci zednických vodováh

Příloha B - Výkres PR-KAL-VOD-1

Příloha C - Výkres PR-KAL-VOD-2

Příloha D - Výkres PR-KAL-VOD-3

Příloha E - Výkres PR-KAL-VOD-4

Příloha F - Výkres PR-KAL-VOD-5

Příloha G - Výkres PR-KAL-VOD-6

Příloha H - Výkres PR-KAL-VOD-7